

UNTERSUCHUNG DER PRIMÄRPRODUKTION IM UNGARISCHEN DONAUABSCHNITT

(DANUBIALIA HUNGARICA LVIII.)

Zs. T. DVIHALLY,

Ungarische Donauforschungsstation, Alsógöd

Eingegangen: 18. Mai 1970

Einleitung

Die moderne Limnologie befaßt sich immer häufiger mit der Stoffwechseldynamik der Gewässer, da durch das Maß der Umbildung der verschiedenen Stoffe eindeutig der Typ und die Qualität der Gewässer bestimmt wird. Aufgrund der Meinung von K n ö p p (1966) betrachtet die moderne Potamobiologie den Abbau und die Umbildung der Stoffe der verunreinigten Flüsse als dynamische biochemische Prozesse und sowohl das Maß wie auch die Schnelligkeit der Selbstreinigung hängt von der Kinetik dieser Prozesse ab. Die kartographische Aufnahme des Flusses nach dem Saprobiensystem wirft auf die im Wasser vorgehenden biologischen Zustände ein Licht; durch die beständige Beobachtung des Sauerstoffhaushaltes hingegen lassen sich auf chemischem Wege die Selbstreinigungsprozesse verfolgen, die von dem sauerstoffverbrauchenden Abbau bzw. der sauerstoff erzeugenden Primärproduktion determiniert werden.

Im Geiste dieser Feststellung haben wir im Jahre 1964 im ungarischen Abschnitt der Donau mit der mit mehreren Methoden durchgeführten Untersuchung der grundlegenden Prozesse der Produktion in dem Flußwasser begonnen. Unser Ziel war die Fixierung der Grundsituation, vorläufig bloß in ein-zwei nicht verunreinigten Donauabschnitten, doch wünschen wir unsere Untersuchungen in der Zukunft auch auf industriell verunreinigte Flußabschnitte auszudehnen. Die Anfangsergebnisse unserer Arbeit haben wir bereits in der Donaumonographie (K n ö p p, 1967) veröffentlicht. In der vorliegenden Studie publizieren wir unsere neuesten, bisher noch nicht veröffentlichten Ergebnisse.

Die Messung des Sauerstoff-Produktions-Potentials (SPP)

Vom Sommer 1966 an untersuchen wir ununterbrochen, wöchentlich das Sauerstoff-Produktions-Potential (SPP) des Donauwassers, bei dem Stromkm 1669 im Hauptarm der Donau bei Alsógöd. Die Wasserproben

werden nach ihrem Herausschöpfen sofort ins Laboratorium befördert und laut der Vorschrift von K n ö p p (1960) unter der Beleuchtung von 4000 Lux bzw. in voller Dunkelheit auf einer Temperatur von 20°C gehalten, wobei der Unterschied des gelösten Sauerstoffgehalts der beiden Proben die SPP-Werte ergibt.

Der SPP-Wert des Wassers ist eigentlich eine Möglichkeit; er ergibt die unter den optimalen Umständen erfolgbare Sauerstoffproduktion. In der freien Natur sind die optimalen Umstände seltener gegeben, weshalb der SPP-Wert gewöhnlich höher ist als die wirkliche Produktion. Ihre Größe wird von der Menge und der im Wasser lebenden Organismen sowie von den verunreinigenden Stoffen beeinflusst, ihre jahreszeitlichen Änderungen reproduzieren wiederum die Dynamik der echten Sauerstoffproduktion.

Aufgrund unserer fast vier Jahre lang anhaltenden Untersuchungsreihe kann im ungarischen Abschnitt der Donau die Jahresdynamik des SPP im folgenden geschildert werden:

Nach der als völlig bezeichnenbaren Winterpause beginnt im allgemeinen um März–April das Anwachsen der SPP-Werte, denen – den bisherigen Messungen nach – ein Spitzenwert im Mai folgt. Nach einem regelmäßig eintretenden Rückfall während des Sommers – der mit dem Zeitabschnitt einer Flutwelle im Sommer zusammenfällt – wachsen die SPP-Werte an und erreichen in der Herbstperiode zwischen August und Oktober ihren größten Wert im Laufe des Jahres. (Der maximale SPP-Wert war im Hauptarm der Donau aufgrund unserer bisherigen Messungen 20,2 mg/l pro Tag.) Von dieser Zeit an nimmt der SPP-Wert des Wassers allmählich ab, sodann tritt von November an der Winterzustand ein, der das Aussetzen der Möglichkeit der biogenischen Tätigkeit widerspiegelt. Es scheint, daß die Sauerstoffversorgung des Donauwassers in der Winterperiode vollständig von den physikalischen Faktoren abhängt.

Den Monatsdurchschnitt der SPP-Werte des beim Stromkm 1669 im Hauptarm des ungarischen Donauabschnittes entnommenen Donauwassers haben wir in der Tab. I. angeführt. Diese Werte stimmen im großen und ganzen mit den im österreichischen Donauabschnitt in der Umgebung von Wien gemessenen Werten überein (K n ö p p, 1967), jedoch sind sie um ein gutes höher als die in dem deutschen Donauabschnitt gemessenen SPP-Werte (K n ö p p, 1967). Es ist also sehr wahrscheinlich, daß es hinsichtlich des Sauerstoffhaushaltes zwischen dem oberen, mittleren und unteren Abschnitt der Donau bedeutende Unterschiede gibt. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich darin, daß die mittlere Donau ein kleineres Gefälle hat und in ihrem langsamer fließenden Abschnitt die ökologischen Verhältnisse (Lichtdurchlassung, Temperatur usw.) für die Assimilation stets günstiger werden und die gesteigerte Eutrophisation das Ansteigen des Produktionswertes befördert. Um die Echtheit der obigen Annahme untersuchen zu können, wäre es interessant mit SPP-Messungen die hydrochemische Untersuchung auch

Tabelle 1.

Die monatlichen Durchschnittswerte des Sauerstoffproduktionspotentials (SPP) des bei Alsógöd (Stromkm 1669) entnommenen Donauwassers. In Klammern wurde die Anzahl der zur Feststellung der Durchschnittswerte benutzten Untersuchungen angeführt

	1966	1967	1968	1969
Januar	—	0,0 (5)	0,6 (3)	0,0 (4)
Februar	—	0,4 (1)	1,6 (4)	0,0 (4)
März	—	1,0 (3)	7,0 (1)	0,3 (5)
April	—	4,2 (7)	9,0 (4)	6,3 (4)
Mai	10,1 (3)	9,0 (4)	10,6 (5)	15,9 (4)
Juni	7,8 (4)	6,2 (5)	6,9 (3)	10,4 (4)
Juli	8,2 (5)	11,0 (5)	6,3 (5)	14,0 (4)
August	10,0 (4)	12,2 (6)	9,3 (4)	11,9 (4)
September	8,6 (7)	12,0 (4)	15,9 (4)	11,0 (4)
Oktober	6,0 (9)	18,6 (5)	4,1 (5)	17,4 (5)
November	0,6 (5)	7,0 (5)	2,7 (4)	7,1 (4)
Dezember	0,0 (3)	2,0 (3)	0,0 (4)	1,9 (3)

in dem von der ungarisch-jugoslawischen Grenze bis zur Mündung reichenden Donauabschnitt zu ergänzen.

In den Nebenarmen, die zufolge der Veränderung des Wasserstandes zeitweise ihre Verbindungen mit dem Hauptarm der Donau verlieren, kommen bei anhaltend niedrigem Wasserstand von dem Donau-Hauptarm abweichende Temperatur-, Durchsichtigkeits-, biologische und chemische Zustände zustande. Die SPP-Werte sind in den aufgewärmten und eutrophisierten stehenden Gewässern zu solchem Zeitpunkt um vieles höher.

Dieser Prozeß wurde von uns vom Frühjahr 1966 bis zum Frühjahr 1968 in dem Nebenarm bei Göd verfolgt, dessen SPP wir mit dem Hauptarm der Donau gleichzeitig wöchentlich untersucht haben. In den Zeitabschnitten, wo das Wasser des Hauptarmes mit dem Wasser des Nebenarmes in aktiver Verbindung steht, stimmten die im Wasser der beiden Donauarme gemessenen SPP-Werte miteinander überein. Dort, wo aber der Nebenarm vom Hauptarm unabhängig wird, kann ein Unterschied der SPP-Werte beobachtet werden.

Auf der Abb. 1. A. haben wir die bisherigen, sich auf unsere SPP-Untersuchungen beziehenden Ergebnisse angeführt. Mit einer ununterbrochenen Linie haben wir die SPP-Werte des Hauptarmes bezeichnet, mit einer gestrichelten die des Nebenarmes. Es wurden auf der Abbildung auch jene Zeitabschnitte angeführt, im Laufe deren der Nebenarm mit dem Wasser des Hauptarmes nicht verbunden war. Von 1968 an haben wir Untersuchungen nur im Wasser des Hauptarmes der Donau fortgesetzt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsserie sind auf der Abb. 1.B. veranschaulicht.

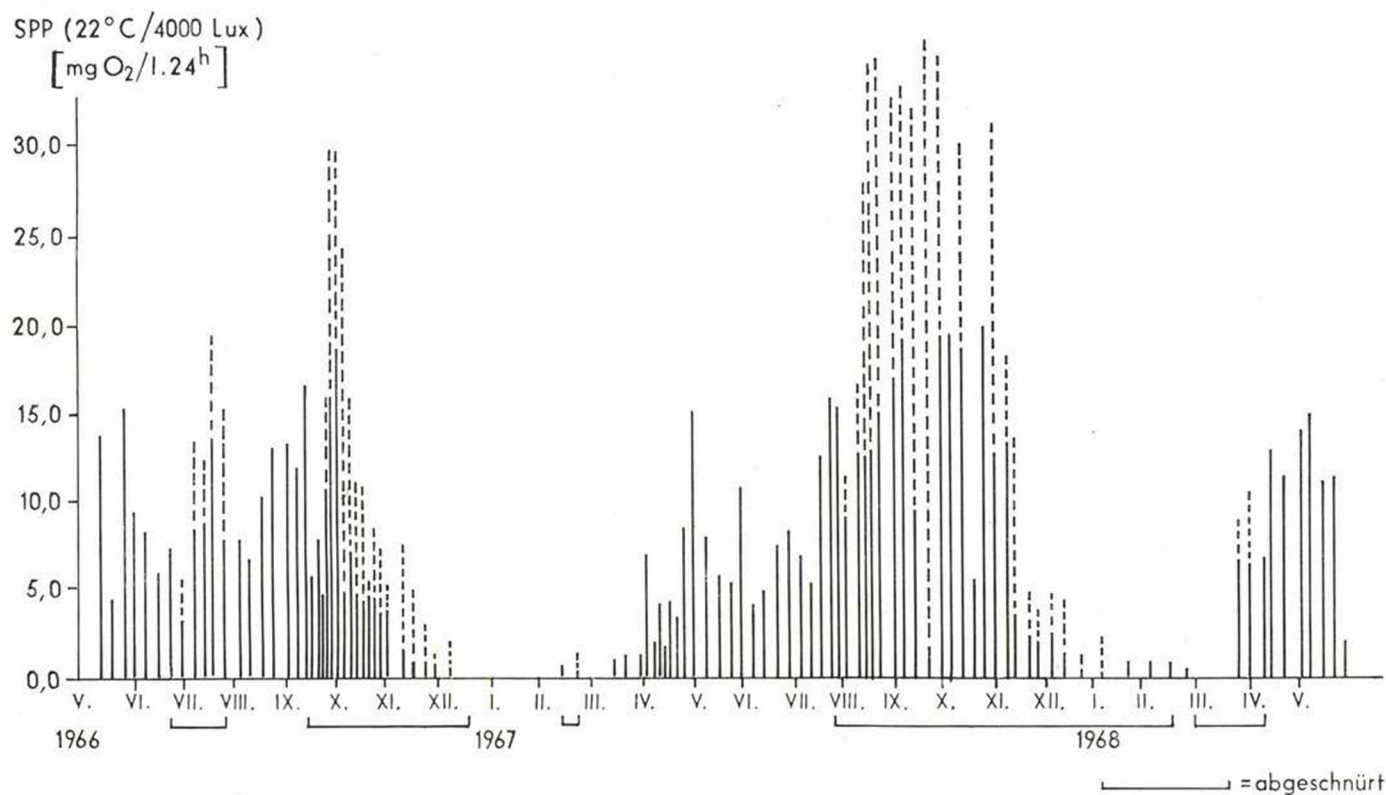


Abb. 1/A. Die Änderungen der SPP-Werte im Donauabschnitt bei Alsógöd. Ununterbrochene Linie—Hauptarm der Donau (Stromkm 1669). Gestrichelte Linie—Nebenarm der Donau (Stromkm 1670)

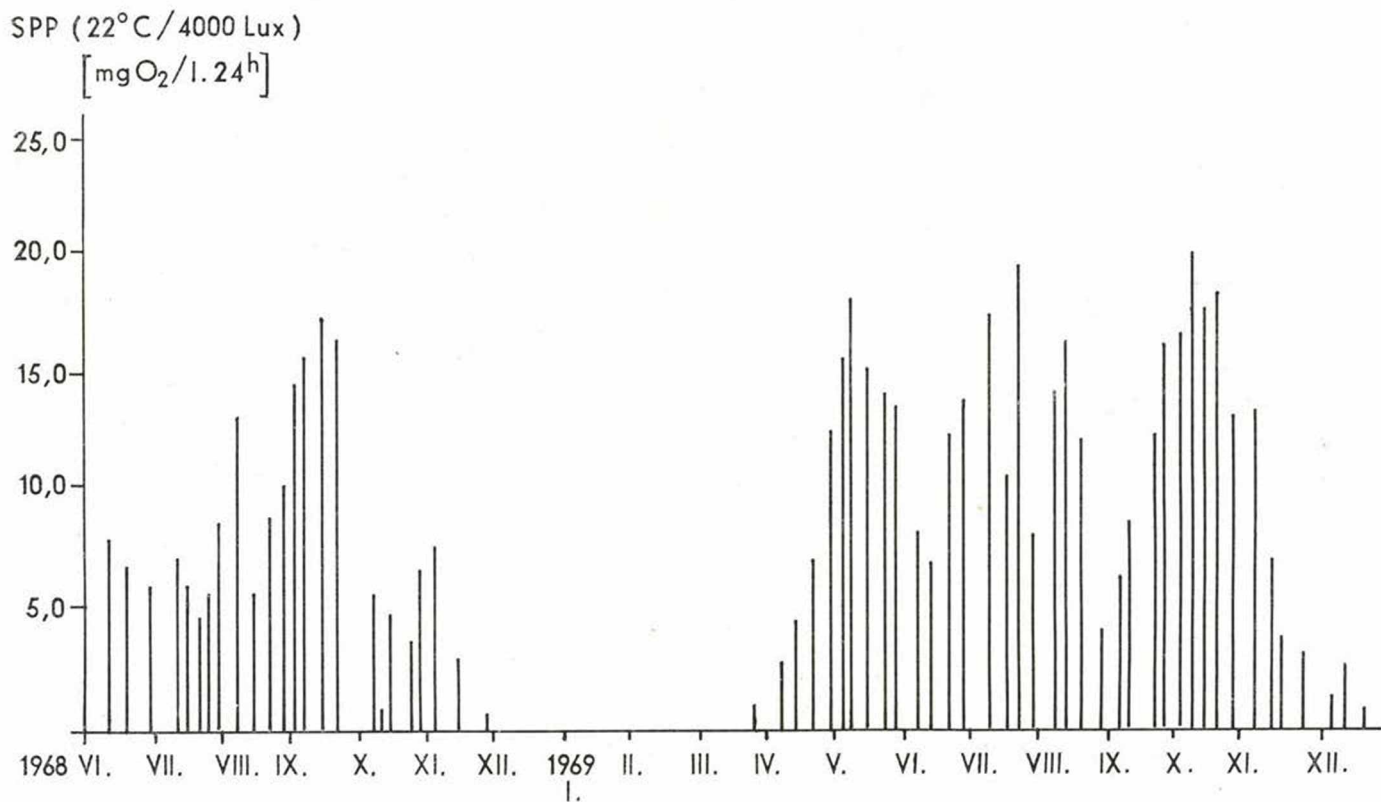


Abb. 1/B. Die Änderungen der SPP-Werte in dem Hauptarm der Donau bei Alsógöd (Stromkm 1669)

Untersuchungen bezüglich der Primärproduktion des Donauwassers *in situ*

Da es den Anschein hat, daß der Verschiedenheit zwischen den SPP-Werten der nicht verunreinigten Donauabschnitte die Änderung der Wasserströmung zu Grunde liegt, begannen wir mit unseren sich auf die Primärproduktion beziehenden Untersuchungen gleich an drei solchen charakteristischen Punkten des ungarischen Donauabschnittes, wo sich die Strömungsverhältnisse des Wassers voneinander in hohem Maße unterscheiden. Wir haben eine solche Untersuchungsstelle im *Hauptarm der Donau* (Paks, 1531 Stromkm) ausgesucht, wo die Strömungsverhältnisse den durchschnittlichen ungarischen Verhältnissen entsprechend waren, und ein solches *Nebengewässer*, das mit der Donau vollständig zusammenhängt, jedoch wo sich wegen des in Ungarn so charakteristischen Ufergebildes die Strömungsverhältnisse verändert haben (in der Nähe von Fadd, Stromkm 1509), ferner einen solchen *toten Arm*, der fast bei jedem Wasserstand von dem Hauptarm der Donau unabhängig ist (toter Arm von Tolna, in der Höhe des Stromkm-s 1503 der Donau). Obwohl die klimatischen und geographischen Verhältnisse in allen drei Biotopen gleich sind, weichen die Strömungsverhältnisse und die damit zusammenhängenden physikalischen Gegebenheiten (Sedimentation, Lichtverhältnisse, Temperatur) voneinander völlig ab.

Im Laufe dieser Arbeit haben wir die Sauerstoffproduktion des Donauwassers nicht aufgrund der in das Laboratorium eingebrachten Proben, sondern *in situ* berechnet, wobei wir die Wasserproben in hellen und dunklen Flaschen von 100 ml-Inhalt etwa 10 cm unter der Wasseroberfläche untergebracht haben; die vom Grunde stammenden Proben versenkten wir hingegen bis in die Nähe des Bodens. Nach 24stündiger Exposition haben wir die Durchschnittswerte des Sauerstoffgehalts der parallelen Proben und aus dem Unterschied des Sauerstoffgehaltes der mit der Hell-Dunkel-Flaschen-Methode durchgeführten Proben die Primärproduktion berechnet (K n ö p p, 1968). Um die Sedimentation des Seston zu verhindern, haben wir nach den Untersuchungen von E r t l und J u r i s (1967) in den Flaschen einige Glaskugeln untergebracht, wodurch eine ständige Mischung ihres Gehaltes erzielt wurde.

Mit dieser Methode haben wir prinzipiell die in einem Tag erfolgte tatsächliche, primäre Nettoproduktion des Wassers festgestellt, auch die Passivität des Phytoplanktons während der dunklen Tagesabschnitte miteinbegriffen. In der Praxis unterscheidet sich jedoch der auf diese Weise erhaltene Produktionswert von der in der Natur vor sich gehenden Produktion, da wir die zu untersuchende Wassermenge abgesondert haben und der zu untersuchende Prozeß in einen abgeschlossenen Raum abläuft. Bei der Auswertung der Ergebnisse muß diese Tatsache beachtet werden.

Die Ergebnisse unserer Messungen faßten wir in der Tab. II. zusammen. Die von drei Stellen stammenden Sauerstoffproduktionswerte haben sich voneinander in jeder Jahreszeit in großem Maße unterschieden. (Leider unterblieb zweimal die Untersuchung des Nebengewässers wegen

Tabelle II.

Die Sauerstoffproduktion des Donauwassers aufgrund der *in situ* angewandten Hell-Dunkel-Flaschen-Methode. Maßeinheit: g O₂/m³/Tag

		Hauptarm der Donau Paks, Stromkm 1531	Nebengewässer der Donau Stromkm 1509	Toter Arm der Donau Tolna, Stromkm 1503
10 – 11. VII. 1968	Oberfläche Grund	1,4 0,4	2,8 1,6	8,5 3,0
3 – 4. XII. 1968	Oberfläche Grund	1,4 1,2	— —	3,1 3,0
14 – 15. V. 1969	Oberfläche Grund	3,8 0,0	— —	6,1 2,6
22 – 23. VII. 1969	Oberfläche Grund	5,0 0,0	9,0 0,0	23,2 0,2
20 – 21. X. 1969	Oberfläche Grund	1,2 0,1	3,6 1,2	14,0 7,0

technischer Schwierigkeiten.) Die Produktionswerte stehen zur Strömung im umgekehrten Verhältnis; am geringsten ist die Sauerstoffproduktion sowohl an der Oberfläche wie auch in der Wasserschicht, die im strömenden Wasser des Hauptarmes in der unmittelbaren Nähe des Grundes liegt, eine größere Produktion wiesen hingegen die langsamer fließenden Gewässer des Nebengewässers und die größte in den Gewässern des toten Armes stehenden Charakters.

Die sich auf den Hauptarm beziehenden Produktionswerte können mit den für den deutschen Abschnitt der Donau von K n ö p p (1965), für den österreichischen Abschnitt mit denen von W e b e r (K n ö p p, 1967) sowie für den tschechoslowakischen Abschnitt mit den von E r t l und J u r i s (1967) festgestellten Angaben gut verglichen werden. Aufgrund der angeführten Untersuchungen wurden im deutschen Abschnitt der Donau in den nicht verunreinigten Teilen höhere, in den verunreinigten Teilen hingegen niedrigere Werte als im ungarischen Donauabschnitt gemessen. Im tschechoslowakischen Donauabschnitt stimmen die in den verschiedenen Jahreszeiten gemessenen Sauerstoffproduktionswerte mit den Sauerstoffproduktionsverhältnissen des ungarischen Donau-Hauptarmes im großen und ganzen überein.

Die Berechnung des täglichen Durchschnittswertes der Primärproduktion aus den Ergebnissen der Untersuchungen *in situ*

Die oben beschriebenen Untersuchungen ergänzten wir ein jedes Mal auch mit zweistündlich vorgenommenen Sauerstoffbestimmungen, so haben wir während der 24stündigen Untersuchung auch die im Wasser

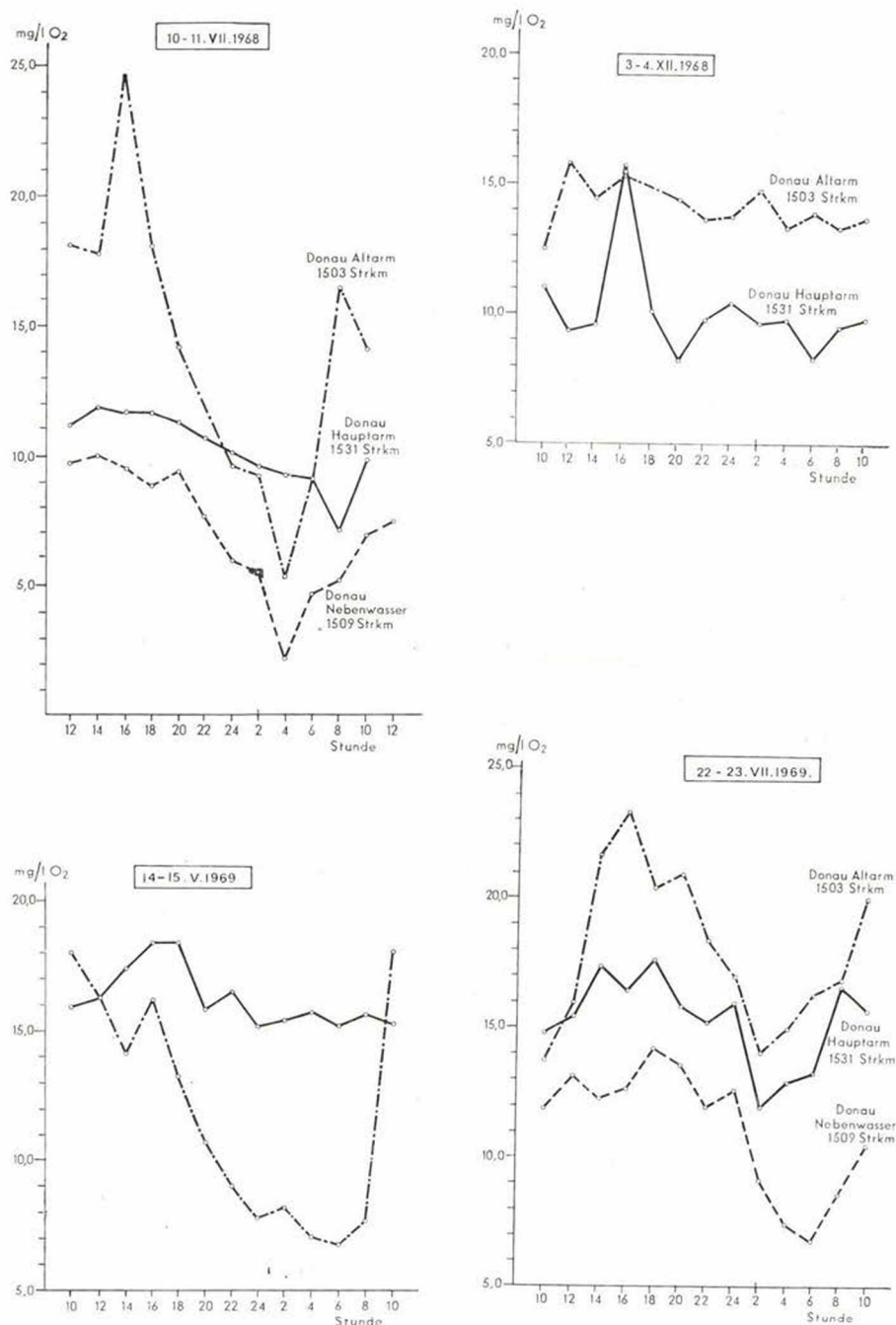


Abb. 2-6. Die Tag-Nacht-Gangkurven des Sauerstoffgehaltes im Donauwasser.

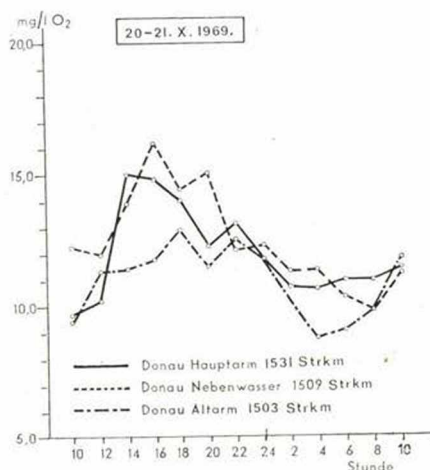


Abb. 6.

selbst vor sich gehenden Sauerstoffgehaltsschwankungen beobachtet. Mit Ausnahme der einzigen Winteruntersuchung konnte in jedem Falle der als klassisch zu bezeichnende, einer Sinuskurve ähnliche Verlauf der Sauerstoffkurve vor allem im Wasser des toten Armes und des Nebenarmes, jedoch in flacherer Form auch im Wasser des Hauptarmes beobachtet werden (Abb. 2, 3, 4, 5 und 6).

Obwohl der Verlauf der Sauerstoffkurven desselben Tages an allen drei Untersuchungsstellen einander ähnlich ist, besteht in den absoluten Werten ein großer Unterschied. Die flächste, ausgeglichene Sauerstoffkurve ergibt sich stets im Hauptarm der Donau, hier ist also die Tageschwankung der Menge des gelösten Sauerstoffes am geringsten. Die Sauerstoffkurve des Nebengewässers nimmt im allgemeinen eine Mittelstellung zwischen der Sauerstoffkurve des Hauptarmes und der des zwischen Extremitäten steil schwankenden toten Armes ein.

Die im Laufe der 24 Stunden eintretenden Unterschiede zwischen dem maximalen und minimalen Sauerstoffgehalt — die auf die Schwankung der biologischen Prozesse im Laufe der Tageszeiten ein Licht werfen können — bringen wir in Tab. III.

Die Sauerstoffkurven ermöglichen, daß wir die Primärproduktion aufgrund der im Wasser selbst vor sich gehenden (also nicht in einer abgesonderten und abgeschlossenen Wassermenge untersuchten) Sauerstoffschwankung errechnen können. Die Produktion mit dieser Methode errechnet, erhalten wir höhere Werte, als mit der Hell-Dunkel-Flaschen-Methode *in situ*. In der Tab. IV. führen wir daher die an den weiter oben geschilderten drei Untersuchungsstellen des ungarischen Donauabschnittes aufgrund der Formel von Br u j e w i t s c h (A l e k i n, 1962) errechneten Primärproduktion vor. Diese Werte sind zwar viel höher als die Produktionswerte K n ö p p s aus dem Rhein (K n ö p p, 1967),

Tabelle III.

Der Unterschied des im Laufe der 24stündigen Untersuchung gemessenen geringsten und größten O_2 -Wertes in mg/l ausgedrückt

	Hauptarm der Donau Paks, Stromkm 1531	Nebengewässer der Donau Stromkm 1509	Toter Arm der Donau Tolna, Stromkm 1503
10–11. VII. 1968	4,7	7,8	20,4
3–4. XII. 1968	7,5	—	3,3
14–15. V. 1969	3,2	—	12,2
22–23. VII. 1969	5,7	7,4	9,4
20–21. X. 1969	5,4	6,4	6,5

Tabelle IV.

Die täglichen Durchschnittswerte der Primärproduktion aufgrund der Formel von Brujewitsch (Alekin, 1962, S. 251) errechnet. Maßeinheit: $g O_2/m^3/Tag$

	Hauptarm der Donau Paks, Stromkm 1531	Nebengewässer der Donau Stromkm 1509	Toter Arm der Donau Tolna, Stromkm 1503
10–11. VII. 1968	6,5	14,5	29,5
3–4. XII. 1968	7,7	—	4,2
14–15. V. 1969	3,8	—	15,3
22–23. VII. 1969	7,4	10,1	12,4
20–21. X. 1969	7,0	9,5	10,0

Tabelle V.

Die in dem Querprofil von Paks (Stromkm 1531) durchgeführten täglichen Sauerstoffmengen.
Maßeinheit: Tonne/Tag

10–11. VII. 1968	1603
3–4. XII. 1968	1677
14–15. V. 1969	4199
22–23. VII. 1969	4687
20–21. X. 1969	519

doch stimmen sie auch mit den 1964 für den ungarischen Donauabschnitt (Knöpp, 1967) gültigen Angaben gut überein und können auch miteinander verglichen werden (Knöpp, 1967).

Die absolute biologische Produktion, also jene Sauerstoffmenge, die das Phytoplankton im Laufe der 24stündigen Untersuchung produziert und in das Donauwasser abgegeben hat, wird auf Tab. V. veranschaulicht. (Bei dieser Berechnung haben wir den Durchschnitt des Sauerstoffgehaltes der Wasseroberfläche und den des in der Nähe des Grundes befindlichen Wassers in Betracht genommen!)

Zusammenfassung

Im vorangehenden haben wir mit verschiedenen Methoden die Intensität der grundlegenden Prozesse der Produktion des Flußwassers untersucht. Leider mußten dazu, um die sich auf den Sauerstoffhaushalt der Flüsse bezüglichen Einzelheiten in exakter Weise untersuchen oder berechnen zu können, sehr viele methodologische Schwierigkeiten bekämpft werden. Die Primärproduktion bildet den Grund für den Sauerstoffhaushalt der Flüsse, für ihre Selbstreinigung und ihrer Verwendbarkeit als Trinkwasser, ferner zur Bewässerung, Fischerei und Erholung. Da ein jeder Eingriff, der in unseren Tagen die Donau gefährdet, die Möglichkeit der Primärproduktion in ihren Gründen verändert (Wasserwirtschafts- und Baueingriffe, Veränderung des Flußquerschnittes und der Ufergebilde, Einführung von giftigen, gefärbten, trüben, oder schäumenden Abwässern in den Hauptarm oder in den Nebenarm usw.), ist es notwendig die Untersuchungen auf eine je breitere Basis auszuweiten.

SCHRIFTTUM

- Alek in, O. A. 1962. Grundlagen der Wasserchemie. Leipzig. VEB. Deutscher Verl. f. Grundstoffindustrie.
- Ertl, M. — Juris, S. 1967. Measurements of primary production in the River Danube. *Biológia*, Bratislava, **22**: 9. 554 — 658.
- Knöpp, H. 1960. Untersuchungen über das Sauerstoffproduktionspotential von Flußplankton. *Schweiz. Z. Hydrol.* **22**: 152 — 166.
- Knöpp, H. 1965. Neue Erkenntnisse zum Sauerstoffhaushalt von Fließgewässern. *Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. Sonderheft.*
- Knöpp, H. 1966. Discussion by H. J. W. Knöpp. Third International Conference on Water Pollution Research. Water Pollution Control Federation, Washington, 1 — 6.
- Knöpp, H. 1967. Zum Stoffhaushalt der Donau. (In: Liepolt, R. *Limnologie der Donau*). Stuttgart. 97 — 119.
- Knöpp, H. 1968. Stoffwechseldynamische Untersuchungsverfahren für die biologische Wasseranalyse. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **53**: 409 — 411.